

1. 緒 論

産業用ロボットの普及において生産性向上のため、ロボット動作の高速高精度化は重要な課題である。しかし、ロボットは高加速度で動作すると、アーム駆動部や関節駆動部などの剛性の低い箇所では振動する。また停止時に残留振動を発生するため、高速な位置決めが困難である。問題の解決には、アームの剛性を高くする方法があるが高コストとなるので、振動の発生状況を把握した上での解決が必要である。このような機械系の振動を低減するには、制御手法改善と動作指令改善¹⁾が有効である。

本研究では、制御対象であるロボットのシステム設計に依存しないために、動作指令を調整する方法に注目する。動作を調整する手法として移動平均法を採用する。制御対象には垂直多関節ロボットを用いる。本ロボットは、アームの剛性が低いため、低周波数の固有振動数を持ち、停止時に残留振動を発生しやすい構造となっている²⁾。このロボットにおいて入力指令の調整を行い、ロボットアーム先端の位置決め時間の短縮を狙う。

2. 実験装置

実験に用いる垂直多関節ロボットを Fig.1 に示す。本ロボットはグラブ側から旋回軸(S軸)、下腕軸(L軸)、上腕軸(U軸)、手首振り軸(B軸)の4軸から構成され、各関節駆動はサーボモータで行う。サーボモータには減速機、エンコーダを内蔵している。コントローラにはハードリアルタイム OS である RT-Linux を用い、サンプリング時間 0.01[s] を補償する。アーム先端に加速度センサを取り付け、先端加速度を測定する。

実験装置の全体を Fig.2 に示す。まず、PC 上で移動平均法によって調整された関節角度指令を作成する。作成されたモータ角度指令は RT-Linux 上の制御演算によってトルク指令となる。トルク指令を電流で与えることで、サーボモータが回転し、ロボットが動作する仕組みになっている。

3. 移動平均法

ロボットの関節角度指令の作成には移動平均法を用いる。本来、移動平均法とは気象予測や株式変動など大きなデータを扱うアルゴリズムであるが、計算式が単純で処理が早いのでモータ指令作成に採用されている。速度指令作成においては、もとの指令の目標位置を変えずに任意の加減速を付加した指令を作成することができる。移動平均法の式は、以下で与えられる。

$$b_{n+1} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad (1)$$

ここで、 a_n : 処理前指令、 b_n : 処理後指令、 n : 移動平均のパラメータである。

速度の四角形指令に移動平均を行った場合の指令の変化を Fig.3 に示す。移動平均のパラメータ n によって加減速を変更する。 n を大きくすると、加速度は小さくなりゆるやかな速度指令となる。

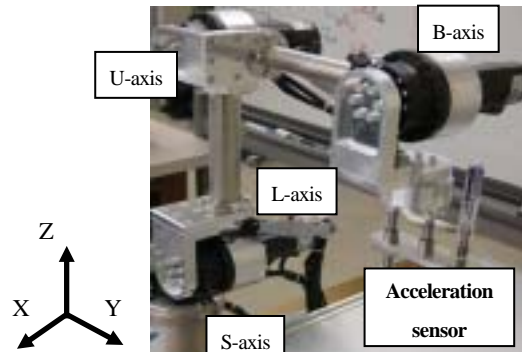


Fig.1 4-axis articulated robot

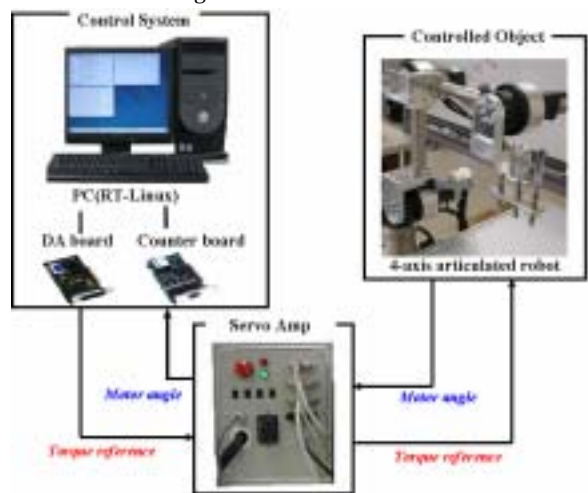


Fig.2 Experimental setup

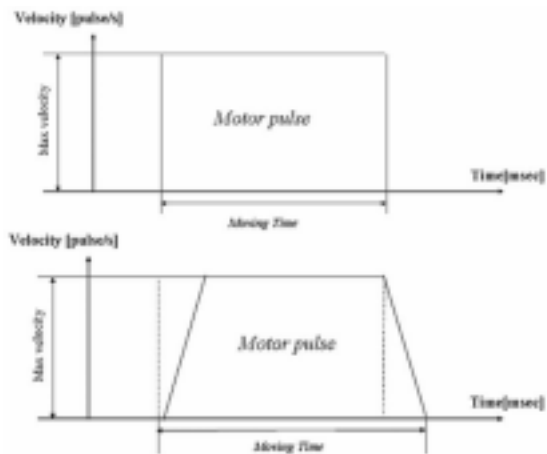


Fig.3 Velocity reference by moving average method

4. 動作指令調整

4.1 速度指令調整

本実験では回転軸を 30 度動作させるモータ角度指令を作成する。回転軸のモータ回転角度は減速比 120, 分解能 16 ビットの時, モータの動作角度をパルスとして式(2)で求める。

$$\begin{aligned} \text{motor pulse} &= \frac{2^{16}}{2} \times 30 \times \frac{1}{180} \times 120 \\ &= 65536[\text{pulse}] \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)で求めたモータパルスは速度指令における面積である。モータ稼働時間を 200[msec]と設定すると, 最大速度は式(3)から求められる。

$$\begin{aligned} \text{MAX velocity} &= \frac{\text{motor pulse}[\text{pulse}]}{\text{operation time}[\text{msec}]} \\ &= 3276[\text{pulse / msec}] \end{aligned} \quad (3)$$

式(2), (3)から四角形波形の速度指令を作成する。この四角形波形を移動平均法により台形波形にする。移動平均のパラメータ n は立ち上がり時間を越えない。本実験では立ち上がり時間を 1000[msec]としたので n の範囲は以下である

$$0 < n \leq 1000 \quad (4)$$

この範囲内で n をそれぞれ 200, 500, 800, 1000 に設定し, 作成した速度指令を Fig.4 に示す。移動平均法は目標位置への演算結果によっては n が 200 の時の指令のように必ずしも台形波とはならない。これらの指令を積分して位置指令に変換し, ロボットに送りそれぞれの動作実験を行う。アームが動き出してから先端の振動が収まるまでの時間を検証し, その中で最も位置決め時間が短いパラメータ n を選定する。

この結果を Tab.1 に示す。最も速くモータ位置決めが完了するのは n が 200 であるが, 停止時の残留振動の発生によって全動作時間は長くなっている。 n が 1000 の時は, 最もモータ位置決め完了する時間は長い残留振動の発生時間が短いので, 最も速く位置決めを完了している。

また n が 800 の時の指令は他と比べて残留振動の発生時間が長い。移動平均法によって作成させた指令は移動平均のパラメータを変更することで, 指令の周波数成分が変化する。このことから n が 800 の指令の周波数成分がロボット自体の固有振動数を共振したためと考えた。

4.2 加速度指令調整

ロボット動作の高速高精度化のために, 停止時の残留振動の対処を行う。残留振動の発生する原因をロボットの動作中の強制振動および停止時にロボットに加わる加振力と考えた。そのため, 急に動作を開始したり停止したりしないようにゆるやかに加速, 減速する指令を作成する。そこで 4.1 では速度の移動平均をとることで加減速を与えたが, 4.2 では加速度に移動平均をかけて加減速を与える方法を提案する。この方法で 4.1 の指令よりもさらにゆるやかな加減速を与えた動作指令が期待できる。

作成手順はまず, 4.1 と同じように四角形の速度指令を作成する。その速度指令に移動平均法によって加減速を与える。この指令は 4.1 で作成した動作指令と同じである。その速度指令を微分して加速度に変換する。このとき, 加速度は四角波形である。この加速度指令にさらに移動平均法を行う。ここで 2 度目の加減速を与えるため, 前節の指令よりもゆるやかな加減速であるといえる。この加速度指令を積分して速度指令に変換する。Fig.4 の移動平均法で調整された速度指令と比較すると, ゆるやかな加減速が付加されたのが分かる。作成した速度指令を Fig.5 に示す。さらにこの速度指令を位置指令に変換し, ロボットに送る。動作実験を行い, モータ動作時間と残留振動の発生時間を考慮した上でロボット全体の位置決め時間を Tab.2 に示す。

4.1 の速度に移動平均法をとった結果と比較検証する。移動平均を 2 度行うことで, モータの動作時間は長くなったが, 残留振動は低減され n が 200 の時, 前節で最も短かった 1900[msec]よりも 200[msec]ほど速くなった。移動平均法を加速度情報で行い, 加減速をゆるやかにすることで高速高精度な位置決めが可能であることが分かった。

5. 結論

移動平均法による高速度高精度の動作指令作成から得られた結論を以下に示す。

- (1) ロボットの高速高精度な指令に移動平均を用い, ロボット動作指令生成に有効であることを実験で検証した。
- (2) 移動平均法を用いて速度指令と加速度指令に加減速を付加する二種類の方法を提案した。
- (3) 速度指令に加減速を与えるとモータの速応性はよいが, 残留振動によりロボット全体の位置決め時間は長くなる。
- (4) 加減速をゆるやかにすることで, 停止時による加振力を低減し, 残留振動を抑制できた。

文献

- [1] 劉鵬・中村政俊・後藤聡・久良修郎, 無調整メカトロサーボ系における入力信号修正法を用いる高精度輪郭制御, 電気学会論文誌(D編)125-4, (2005)pp.378-385
- [2] 浜松弘・上野大志・田中義人・二見茂, 多関節ロボット的位置決め制御における指令生成に関する考察, 日本機械学会講演論文集, No.068-1, (2006)pp.225-226

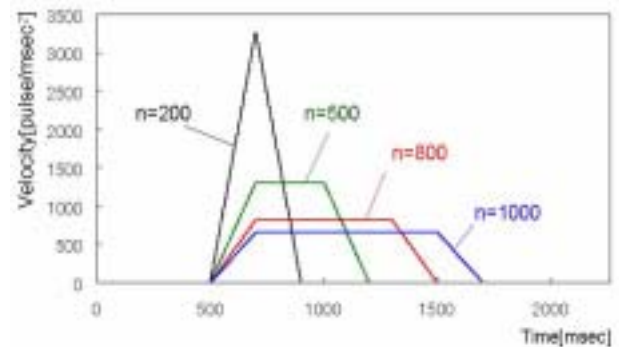


Fig.4 Velocity reference by moving average method of velocity

Tab.1 Operation time by moving average method of velocity

n	Motor operating time	Residual vibration time	All operating time
200	500	1600	2100
500	800	1500	2300
800	1100	2000	3100
1000	1300	600	1900

[msec]

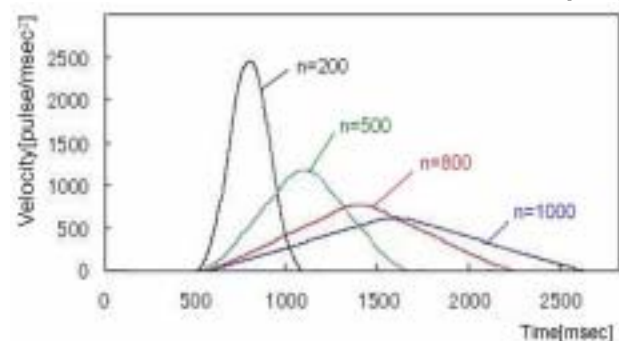


Fig.5 Velocity reference by moving average method of acceleration

Tab.2 Operation time by moving average method of acceleration

n	Motor operating time	Residual vibration time	All operating time
200	600	1100	1700
500	1200	1300	2500
800	1800	700	2500
1000	2200	800	3000

[msec]